



(1) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

## (2) Offenlegungsschrift

(10) DE 197 47 757 A 1

(5) Int. Cl. 6:  
**B 22 F 3/20**  
C 22 C 1/08

DE 197 47 757 A 1

(66) Innere Priorität:

197 31 240. 3 21. 07. 97

(71) Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

(74) Vertreter:

PFENNING MEINIG &amp; PARTNER GbR, 80336 München

(72) Erfinder:

Eifert, Harald, Dr. Dipl.-Phys., 36381 Schlüchtern, DE; Weber, Markus, Dr.-Ing., 28757 Bremen, DE; Knüwer, Matthias, Dipl.-Ing., 28717 Bremen, DE; Veltl, Georg, Dr.-Ing., 28755 Bremen, DE; Hartwig, Thomas, 27721 Ritterhude, DE

(56) Entgegenhaltungen:

DE	44 19 591 A1
AT	1 94 228
US	45 82 677
US	33 13 622
US	27 92 302

Schwyn,R.E.: Extruding Cored Wire Electrodes In: Metal Industry, 19.12.1963, S.894-895/S.894, rechte Sp. letzter Abs. bis S.895, rechte Sp., letzte abs., Fig. auf S.894;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Herstellung von quasi-endlos Profilen aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von quasi-endlos Profilen aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien, bei dem metallisches, keramisches oder eine Mischung solcher Pulver mit einem Binder oder Bindergemisch, bei einem Druck und einer Temperatur, bei der der Binder oder das Bindergemisch zumindest niedrig-viskos ist, als fließfähige Mischung mit einem Schneckenextruder durch eine die Profilform vorgebende Düse gepreßt und der Binderanteil zumindest so eingestellt wird, daß der aus der Düse austretende Strang formstabil ist und der profilierte Strang oder durch Konfektionierung erhaltenen Teile davon gesintert wird/werden.

DE 197 47 757 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von quasi-endlos Profilen aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien, mit dem Profilstränge aus metallischen, keramischen oder solchen Pulvermischungen hergestellt werden können, wobei relativ komplexe Profilformen realisierbar sind. Die so hergestellten Stränge können dann entsprechend umgeformt und/oder durch Konfektionierung in einzelne Teile getrennt werden. Mit der Erfindung können beispielsweise vorteilhaft profilierte Wärmetauscher, für die Verwendung in elektronischen Geräten oder in Verbindung mit elektronischen Bauteilen, Filter- oder Belüftungsrohre, Hochtemperatur-Wärmetauscherrohre, Sägeblätter insbesondere für die Metallbearbeitung, Wolfram-Schweißelektroden, Pleuel-Halbzeuge, Nockenprofile für Nockenwellen, Katalysatorträger, Gleitlagerhalbzeuge u. a. m. hergestellt werden.

Bei der Kunststoffverarbeitung haben sich Extrusionsverfahren seit langem durchgesetzt und werden für die Herstellung so extrudierter Profile im großen Umfang benutzt.

Auf dem Gebiet der Metallverarbeitung wird die Extrusion, wie dies in K. Müller; "Grundlagen des Strangpressens", Expert-Verlag, 1995 erwähnt ist, für das Strangpressen eingesetzt.

Außerdem ist es aus US 2,792,302 und US 3,313,622 bekannt, metallische Profile zu extrudieren, wobei das mit einem plastifizierenden Binder versetzte Metallpulver im noch festen, plastischen Zustand des Binders mittels eines Kolbenextruders im Strangpreßverfahren geformt wird. Dabei müssen feste Binder verwendet werden, da die dort vorgeschlagenen Bindersubstanzen im teilflüssigen Zustand keine stabilisierende Wirkung auf das hergestellte Profil ausüben und das aus der Düse austretende Material die gewünschte Form ansonsten nicht einhalten kann.

Dem soll nach der in US 2,792,302 beschriebenen Lehre entgegengewirkt werden, in dem die profilierten Bauteile einem Nachverdichtungsprozeß unterzogen werden, um reproduzierbare gute Bauteileigenschaften zu erhalten.

In US 3,313,622 wird dagegen vorgeschlagen, den Entbindungsprozeß durch Zugabe eines inerten Pulvers zu unterstützen.

Bei dem in US 4,582,677 beschriebenen Verfahren wird eine teilflüssige Bindersubstanz dem metallischen Pulver zugegeben, wobei diese Bindersubstanz und das Metallpulver mit Schmiermitteln und Flüssigkeiten versetzt wird, um eine Extrusion zumindest in der Nähe der Raumtemperatur durchführen zu können.

Das dort vorgeschlagene Bindersystem verwendet bei höherer Temperatur aushärtende Kunsthärze, deren notwendige Entfernung bei der Herstellung hochdichter metallischer Bauteile nur schwierig möglich ist. Außerdem soll zur Erhöhung der Stabilität und Festigkeit eine Wabenstruktur ausgebildet werden. Werden die verflüssigten Substanzen und der Binder zumindest teilweise entfernt, wird eine stabilisierende Wirkung durch die Aushärtung der verwendeten Kunsthärze erreicht. Bei diesem vorbekannten Verfahren müssen jedoch die Verfahrensparameter sehr genau eingehalten werden, obwohl ein teilflüssiger Binder verwendet wird. Auch bei diesem Verfahren soll ein Kolbenextruder Verwendung finden und es müssen für das Extrudieren Drücke oberhalb 90 bar eingehalten werden.

Kolbenextruder sind jedoch, wegen des begrenzten Zylindervolumen eines solchen Extruders nur diskontinuierlich betreibbar und es muß in jedem Fall, das zu extrudierende Pulver-Bindergemisch in einem gesonderten Verfahrensschritt und in einem gesonderten Werkzeug vor der eigentlichen Formgebung mit dem Kolbenextruder vorbereitet werden.

Mit allen bekannten Fahren kann keine Kalibrierung zur Erzeugung maßhaltiger Bauteile durchgeführt werden.

Ausgehend hiervon, ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem es möglich ist, Profile mit einem sehr großen Länge/Breite-, Länge/Höhe- und/oder Länge/Wandstärke-Verhältnis herzustellen, die als Ausgangspulver Metalle, Keramik oder solche Mischungen verwenden.

Erfundungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich bei Verwendung der in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmale.

Bei dem erfundungsgemäßen Verfahren wird so vorgegangen, daß metallisches, keramisches Pulver oder eine Mischung von Metall- und Keramikpulver verwendet wird, dem ein Binder oder ein Bindergemisch vor dem Einfüllen in den Extruder oder zeitgleich damit zugegeben wird, so daß die Pulver-Binder-Mischung oder die Einzelkomponenten vom Extruder zur Düse gefördert und dabei plastifiziert bzw. verflüssigt sowie im Falle der Zugabe von Einzelkomponenten zusätzlich vermischt werden. Die Erzeugung der notwendigen Temperatur und des Druckes erfolgt durch Friction im Extruder bzw. durch eine externe Heizung. Die

so erhaltene fließfähige Mischung wird im Extruder durch eine Düse gepreßt, mit der die gewünschte Profilform des Stranges erhalten werden kann. Der aus der Düse austretende Strang ist dann ausreichend formstabil und weist die gewünschte Profilierung auf. Im Nachgang hierzu, kann entweder der profilierte Strang oder aus dem Strang, durch Konfektionierung erhaltene Einzelteile gesintert werden. Beim Sintern kann durch entsprechende Verfahrensführung nochmals Einfluß auf die Werkstoffeigenschaften des fertigen Werkstoffes genommen werden, wobei auf Möglichkeiten hierzu im weiteren noch einzugehen sein wird.

Als Binder können thermoplastische oder duroplastische Polymere, Wachse, thermogelisierende Substanzen oder oberflächenaktive Substanzen verwendet werden. Dabei können diese allein oder als Bindergemische mehrerer solcher Komponenten eingesetzt werden. Die Zusammensetzung des Binders sollte jedoch so sein, daß der durch die Düse extrudierte Strang soweit formstabil ist, daß die durch die Düse vorgegebene Profilform ohne weiteres eingehalten werden kann.

Geeignete Binderkomponenten sind Polyamide, Polyoxymethylen, Polycarbonat, Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat, Polyimid, natürliche Wachse und Öle, Duroplaste, Cyanate, Polypropylene, Polyacetate, Polyäthylen, Äthylen-Vinyl-Acetate, Polyvinyl-Alkohole, Polyvinyl-Chloride, Polystyrene, Polymethyl-Methacrylate, Aniline, Wasser, Mineral Öle, Agar, Glyzerin, Polyvinyl-Butyryl, Polybutyl-Methacrylate, Cellulose, Ölsäuren, Phthalate, Paraffin Wachse, Carnauba Wax, Ammonium Polyacrylate, Diglycerid-Stearate und -Oleate, Glycerol-Monostearate, Isopropyl-titanate, Lithium-Stearate, Monoglyceride, Formaldehyde, Octyl-Säure-Phosphate, Olefin-Sulfonate, Phosphat-Ester, Stearinäsure oder Zink-Stearate.

Gegenüber den bekannten Lösungen kann erfundungsgemäß besonders vorteilhaft kontinuierlich gearbeitet werden und die Eigenschaften des entsprechend hergestellten Werkstoffes bzw. solcher Werkstücke können ohne größeren Aufwand konstant gehalten werden. Außerdem verringert sich der Aufwand für die Durchführung des Verfahrens und es ist außerdem einfacher automatisierbar.

Die bevorzugt zu verwendenden Ein- oder Mehrschneckenextruder sind außerdem in der Lage, mehrere Verfahrensschritte durchzuführen, so kann das Mischen, das Fördern und die Druckerzeugung mit einem solchen Extruder

durchgeführt werden, ohne daß zusätzliche Werkzeuge oder Anlagen erforderlich sind.

Der gemäß der Erfindung zu verwendende Binder oder ein solches Bindergemisch (bevorzugt thermoplastisch) erreicht nach dem Austritt aus dem Extruder, bei einer Temperatur je nach Zusammensetzung zwischen 50 und 300°C eine ausreichende Festigkeit, wodurch gesichert ist, daß der aus der Düse extrudierte Profilstrang die gewünschte Form beibehält. Dabei kann auf eine bestimmte Geometrie (Wabenstruktur), wie dies nach der Lehre gemäß US 4,582,677 erforderlich ist, verzichtet werden. Außerdem ist kein austärtender Binderbestandteil, wie die bei dieser Lösung erforderlichen Kunstharze, erforderlich.

Ein Schneckenextruder hat weiter den Vorteil, gegenüber den herkömmlich verwendeten Kolbenextrudern, daß wesentlich geringere Drücke bei der Verfahrensführung erforderlich sind. Wobei sich die Herabsetzung der Viskosität der Pulver-Bindermischung hier ebenfalls günstig auswirkt. Im Gegensatz zur aus dem Stand der Technik bekannten Verwendung schwer entfernbarer Binderbestandteile (Kunstharze), können mit der Erfindung hochdichte Geometrien (Profilformen) hergestellt und außerdem gegenüber Kohlenstoff empfindliche Werkstoffe verarbeitet werden.

Vorteilhaft kann auch der extrudierte Profilstrang, direkt nach dem Austritt aus der Düse des Extruders kalibriert werden, um so die Formgenauigkeit weiter erhöhen zu können.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Urformprozeß aus einer teillüssigen bzw. flüssigen Phase durchgeführt, wobei im Gegensatz dazu bei den herkömmlichen Verfahren eine Umformung durchgeführt wird. Im Gegensatz zu den üblicherweise verwendeten Strangpressen oder der Verwendung eines Reibrades mit einer Nut, wie es aus dem Conform-Verfahren bekannt ist, wird mit der Schnecke des Extruders das Pulver-Bindergemisch nicht nur mit einem Druck beaufschlagt, sondern auch das Ganze gemischt und gefördert, wobei der verwendete Druck und die verwendete Temperatur neben der Herabsetzung der Viskosität gegebenenfalls bis hin zur Verflüssigung, auch eine Plastifizierung von bestimmten Binderanteilen bewirken kann. Im Schneckenextruder erfolgt die Formgebung des vorher gegebenenfalls auch unvermischten gestaltlosen Pulver-Bindergemisches nicht durch Scherkräfte innerhalb einer Festkörpermatrix, sondern durch den Druckverlust eines die Form vorgebende Düse durchströmenden Fluides, das als Trägersubstanz für die Pulverpartikel fungiert. Dabei wird bei einer Temperatur extrudiert, bei der wesentliche Anteile an Binder zumindest niedrig viskos bis flüssig sind und das Gemisch demzufolge fließfähig wird und eine Förderung mit anschließender Formgebung durch die Düse erreichbar ist. Bei ausreichend hohem Druck und hoher Temperatur wird das Pulver mit Binder benetzt und ist fließfähig. Außerdem treten beim Extrudieren keine Verformungen oder Verschweißungen des Ausgangspulvers auf. Der verwendete Binder garantiert außerdem eine ausreichende Formstabilität des aus der Düse austretenden Stranges, die so groß ist, daß der extrudierte Strang sein Profil beibehält und, wenn überhaupt, nur geringfügige Deformationen, die vernachlässigbar sind, der Profilgeometrie auftreten könnten. Der verwendete Binder kann ggf. auch eine Nachbearbeitung in Form einer plastischen Verformung des Extrudates, auch in periodischen Abständen ermöglichen.

Der aus der Düse des Extruders austretende profilierte Strang kann und sollte günstigerweise mit einer entsprechenden Vorrichtung abgezogen werden. Hierfür kann eine Ebene oder eine entsprechend profilierte Fördereinrichtung verwendet werden, die dann an das Profil des Stranges angepaßt ist und Verwerfungen desselben verhindert werden können. Bei einer solchen Fördereinrichtung sollten die ent-

sprechende Relativgeschwindigkeit mit der Extrudiergegeschwindigkeit nahezu synchron sein. Eine entsprechend geometrisch ausgebildete Fördereinrichtung kann außerdem formgebend, formunterstützend oder kalibrierend wirken, so daß die Genauigkeit der Profilgeometrie und der Profilabmaße erhöht werden kann oder zusätzliche Formelemente eingebracht werden können.

Alternativ oder zusätzlich dazu kann zwischen der Düse und der Abzugseinrichtung eine Kalibriereinrichtung angeordnet sein, mit der das Strangprofil und dessen Abmaße in seiner Form und Maßhaltigkeit weiter verbessert werden.

Zusätzlich können Umformvorrichtungen eingesetzt werden, die den hergestellten Strang im teilerstarren Zustand, sowohl in Extrusionsrichtung, als auch quer dazu, verformen können, so daß z. B. auch bogenförmige Stränge hergestellt werden können.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann außerdem besonders vorteilhaft weiter gebildet werden, in dem mehrphasige Werkstoffe in Form eines Strangprofiles hergestellt werden können. Dabei können mindestens zwei verschiedene Pulver-Bindergemische eingesetzt werden, die in einer Alternative im formgebenden Werkzeug des Extruders, also der Düse zusammengeführt werden und diese dann gemeinsam verlassen oder zwei getrennt profilierte Stränge nach dem Austritt aus getrennten Düsen zu einem gemeinsamen Strang, der aus zwei verschiedenen Materialkomponenten gebildet wird, zusammengeführt.

Unter Berücksichtigung der Zusammensetzung des Binders oder eines Bindergemisches sollten nach dem Extrudieren einzelne Komponenten durch einfaches Verdampfen, Wicking, Destillation, Sublimation, Extraktion, Cracken unter Schutzgas oder katalytisch unterstützte chemische Reaktionen aus dem Strang entfernt werden. Einige Binderkomponenten können aber auch beim ohnehin erforderlichen Sintern, beispielsweise während der Aufheizphase und gegebenenfalls dabei eingehaltenen Haltezeiten, entfernt werden.

Nachfolgend soll die Erfindung an Ausführungsbeispiele näher erläutert werden.

Dabei zeigen:

Fig. 1 Beispiele von Bauteilgeometrien für Wärmetauscher, die an elektronischen Bauelementen eingesetzt werden können;

Fig. 2 schematische Aufbauten von rohrförmigen Profilen und

Fig. 3 schematisch die Herstellung eines aus zwei verschiedenen Werkstoffen bestehenden Sägeblattes mit dem erfindungsgemäßen Verfahren.

An einem ersten Beispiel soll etwas ausführlicher die Vorgehensweise mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Herstellung eines porösen Gleitlagerhalbzeuges, in kontinuierlicher Form beschrieben werden, das gegebenenfalls mit Schmierstoffen getränkt und bei Bedarf mit zusätzlichen Festkörperschmierstoffen (z. B. Kohlenstoff, MoS<sub>2</sub>) versetzt werden kann.

Von W. Schatt, "Pulvermetallurgie, Sinter- und Verbundwerkstoffe", Verlag Dr. A. Hüthig, Heidelberg 1988 wird darauf hingewiesen, daß solche Lager nach den bekannten pulvemetallurgischen Verfahren hergestellt werden können, wobei hier Schütt-sintern bzw. Pressen der Pulver mit geringem Preßdruck genannt sind. Dabei handelt es sich um diskontinuierliche Verfahrensweisen, die bereits am Anfang des vollständigen Herstellungsprozesses liegen. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es nunmehr aber möglich, solche Gleitlagerhalbzeuge kontinuierlich bis hin zur Konfektionierung der einzelnen Lagerlängen herzustellen. Dabei wird ein Schneckenextruder mit einer Rohrextrusionsdüse verwendet. Es besteht aber auch die Möglichkeit, für

die Herstellung von linearen, ebenen Lagerprofilen (Gleitschienen u. a.) schlitzförmige oder ähnlich profilierte Düsen einzusetzen. Neben Sinterbronze können dem Buch von W. Schatt auch andere für solche Lager einsetzbare metallische Pulver entnommen werden.

Dem Ausgangspulver Sinterbronze CuSn10 mit einer Korngröße unterhalb 100 µm wird ein Bindergemisch zugegeben, das aus 30 Masse-% Polyäthylen, 59 Masse-% Paraffin, 10 Masse-% Carnauba Wachs und 1 Masse-% Stearin-säure zusammengesetzt ist.

Das Bindergemischvolumen wird durch die Bestimmung der Volumendifferenz zwischen der theoretischen Dichte und der Klopfdichte der pulverförmigen Sinterbronze bestimmt. Die Bestimmung der Klopfdichte des Metallpulvers erfolgt dabei nach ISO-DIN 3953. Dabei sollte das Bindergemischvolumen jedoch so groß sein, daß nahezu das gesamte freie Volumen der Metallpulverschüttung durch Binder penetriert wird.

Das so vorbereitete Pulver-Bindergemisch wird in einem Knetmischer, bei einer Mischtemperatur von 120°C ca. 60 min geknetet und die Temperatur dabei kontinuierlich auf ca. 80°C abgesenkt. Danach wird die Mischung auf ca. 50°C weiter abgekühlt, aus dem Mischer entnommen und granuliert. Dieses Granulat wird dann in den Extruder gegeben und über dessen Schnecke verdichtet, aufgeschmolzen und im schmelzflüssigen Zustand durch die Düse gedrückt, wobei die gewünschte geometrische Profilierung, also die gewünschte Form des Lagerhalzeuges erhalten wird. Die erforderliche Erwärmung des Pulver-Bindergemisches wird durch die Friction während des Extrudierens infolge der Schneckenrotation und durch externe zusätzliche Beheizung des Schneckenzyinders und der Düse erreicht. Im Bereich der Einführung des Pulver-Bindergemisches kann eine Temperatur von ca. 50°C und vor der Düse eine Temperatur von ca. 80°C eingestellt werden.

Der aus dem Schneckenextruder extrudierte Strang wird nach der Düse mit Hilfe eines Förderbandes abgezogen und kann dort vollständig erstarren. Der extrudierte Strang erreicht direkt nach dem Austritt aus der Düse eine Festigkeit, die zur Eigenstabilisierung des gewünschten Profiles ausreicht.

Aus dem profilierten Strang können dann die Wachskomponenten in einem Hexanbad, bei einer Temperatur von ca. 30°C während einer Zeit von ca. 3 h entfernt werden. Weitere Binderkomponenten können thermisch ausgetrieben werden, wobei dies in einer oxidierenden Atmosphäre, z. B. Luft, erfolgen kann. Dabei wird mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 2 K/min bis auf 320°C zur restlosen Entfernung der letzten Wachskomponenten aufgeheizt und nachfolgend eine Haltezeit von 0,5 h eingehalten. Wiederum im Anschluß daran, wird mit der gleichen Aufheizgeschwindigkeit weiter bis 450°C erwärmt und diese Temperatur etwa 1 h gehalten, um die Polyäthylenanteile zu entfernen.

Im letzten Verfahrensschritt erfolgt das Sintern im Vakuum, wobei zu Beginn mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 5 K/min bis auf 500°C erwärmt und diese Temperatur ca. 1 h gehalten wird, um eventuell noch vorhandene Polymerreste zu entfernen. Im Nachgang dazu kann mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 10 K/min auf 850°C weiter geheizt werden und diese Temperatur wieder ca. 1 h gehalten und der Werkstoff so gesintert werden. Nach dem Sintern wird mit 10 K/min abgekühlt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können aber auch Wärmetauscher für elektronische Bauteile oder elektronische Geräte hergestellt werden, die relativ großflächig und stark profiliert ausgebildet sein sollen. Entsprechende Profilformen sind in Fig. 1 dargestellt, wobei solche Kühlkörper mit Kühlrippen auf einer Grundplatte angeordnet sind. Auf

herkömmliche Art und Weise werden solche Kühlelemente aus Aluminiumprofilen hergestellt, wobei eine spanende Bearbeitung z. B. ein Hochgeschwindigkeitsfräsen erforderlich ist.

5 Im Gegensatz zu der aufwendigen herkömmlichen Herstellung kann eine solche Geometrie mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sehr einfach und kontinuierlich hergestellt werden. Nach dem Extrudieren kann das noch teigige, teilerstarnte Profil quer zur Extrusionsrichtung mit einer entsprechenden Schneidvorrichtung, mit nur geringem mechanischen Aufwand in den erforderlichen Abmessungen konfektioniert und vereinzelt werden. Dabei ist auch die Grundplattengeometrie mit der entsprechend ausgebildeten Düsenform ohne weiteres, wie dies auch für die Kühlrippen zu trifft, herstellbar und kann der geometrischen Struktur des jeweiligen zu kühlenden Bauelementes ohne weiteres angepaßt werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann eine bessere und freiere Legierungsauswahl, entsprechend den jeweiligen Anforderungen gewählt und so die Werkstoffeigenschaften des Bauteiles besser berücksichtigt werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können aber auch rohrförmige Stränge hergestellt werden, die als Filter- und Belüfterrohre eingesetzt werden können.

25 In der Abwasser-Aufbereitungstechnik (Kläranlagen) und auch in anderen chemisch-technischen Anlagen werden häufig in Wandrichtung (radial) permeable Rohre eingesetzt, um Gase kontrolliert in Flüssigkeiten einzuleiten bzw. Gase und Fluide zu filtrieren. Solche Rohre werden bereits pulvermetallurgisch hergestellt, wobei hierfür bisher das diskontinuierliche Schüttintern, auch unterstützt durch die sogenannte Zentral-Zentrifugal-Pulvermetallurgie (P. Neumann, V. Arnhold, "Innovative poröse Bauteile und Möglichkeiten ihrer Charakterisierung", Pulvermetallurgie in 30 Wissenschaft und Praxis, Band 9, VDI-Verlag 1993), angewendet worden ist.

Mit der Erfindung können solche Rohre jedoch kontinuierlich hergestellt werden und durch sogenannte Coextrusion ist es möglich, bei Verwendung von mindestens zwei 40 verschiedenen Pulver-Bindergemischen, die jeweiligen Filtereigenschaften lokal, in radialem und/oder axialer Richtung gezielt zu beeinflussen. Verschiedene Möglichkeiten mit verschiedenen Werkstoffen oder Pulverfraktionen, die lokal getrennt angeordnet sind und verschiedene Porositäten, also 45 verschiedene Filtereigenschaften aufweisen, sind in Fig. 2 dargestellt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können aber auch 55 Wärmetauscherrohre, die im Hochtemperaturbereich eingesetzt werden sollen, hergestellt werden. Um den Wirkungsgrad von Wärmetauschern zu erhöhen, ist es erforderlich, deren Arbeitstemperaturen möglichst sehr hoch zu halten. Dies ist durch den Einsatz entsprechender Werkstoffe möglich. So kann beispielsweise eine Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-teilchenverstärkte ODS-Legierung (PM 2000, MA956) oder eine intermetallische Phase verwendet werden. Solche Legierungen können ausschließlich pulvermetallurgisch hergestellt und verarbeitet werden, wie dies auf bekanntem Wege mit dem CIP, dem Strangpressen des CIP-Bolzens in Rohrform oder Rohrwalzen bisher durchgeführt wurde. Durch die starke Kornverformung erfolgt jedoch eine Rekristallisation in den Vorfür 60 zugsrichtungen, die in unerwünschter Form zu extremem Grobkorn und zu Disharmonien in der Übereinstimmung der Raumrichtung der höchsten Werkstoffbeanspruchung und höchsten Werkstofffestigkeit und -verformbarkeit führt. So ist es von M. Knüwer in "Untersuchungen zum Einfluß des Korngefüges auf das Kriechen von Rohren aus der dispersionsverfestigten Legierung PM 2000", Diplomarbeit, MLU Halle/KFA-Jülich 1996 bekannt.

Im Gegensatz dazu ist es mit der Erfindung möglich, solche Rohre herzustellen, ohne daß die einzelnen Pulverteile selbst verformt werden und demzufolge bei der Rekristallisation extreme Anisotropien der mechanischen Eigenschaften erzeugt werden. Dabei kann ebenso verfahren werden, wie dies bei der Herstellung der Filter- und Belüftungsrohre beschrieben worden ist.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann aber auch die Herstellung von Sägeblättern, die insbesondere für die Metallbearbeitung geeignet sind, durchgeführt werden. Solche Sägeblätter können aus mehrkomponentigen Materialien hergestellt werden. Sie weisen dann eine Schneiden-schicht, z. B. aus einem HSS-Stahl und eine Trägerschicht aus einem preiswerteren Stahl geringerer Härte und ausreichender Festigkeit auf. Durch eine Coextrusion verschieden zusammengesetzter Metallpulver-Binder-gemische ist es dann möglich, mit Hilfe einer entsprechend ausgebildeten Schlitzdüse und verschiedener Einspeisepunkte ein HSS- oder Hartmetall-Pulver-Binder-gemisch mit einem Stahlpulver-Binder-gemisch parallel zu extrudieren und so ein aus zwei verschiedenen Materialien bestehendes Sägeblatt zu erhalten. Die Herstellung und der Aufbau eines solchen Sägeblattes sind schematisch in der Fig. 3 dargestellt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können aber auch Wolfram-Schweißelektroden, die beim Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) eingesetzt werden, hergestellt werden. Die nicht abbrennenden Wolfram-Schweißelektroden werden gegenwärtig in einem aufwendigen Herstellungsprozeß hergestellt (O. Pausa, "Der Einfluß von elektronenemissionsfördernden Dotierungen auf die Herstellung und die Anwendung von Wolframelektroden", VDI-Verlag Düsseldorf, 1997). Der Herstellungsprozeß umfaßt kaltisostatisches Verdichten (CIP), Sintern im direkten Stromdurchgang, Kaltumformung, Rekristallisation. Diese aufwendige Verfahrensführung ist durch die Werkstoffeigenschaften und Besonderheiten des höchstschmelzenden Wolframmetall beschränkt. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren läßt sich der Verfahrensablauf dadurch vereinfachen, daß die Prozeßschritte CIP, Kaltumformung und Rekristallisation eingespart werden können. Nach der Extrusion ist nur noch der Entbindungs- und Sinterschritt erforderlich und es kann gegebenenfalls eine Kalibrierung und Konfektionierung durchgeführt werden.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Herstellung von Halbzeugen für Pleuelstangen. Die Pleuelstangen für kleinere Verbrennungsmotoren werden gegenwärtig durch Gießen, Schmieden oder Sinterschmieden hergestellt. Trotz des möglichen relativ hohen Automatisierungsgrades, werden immer diskontinuierliche Prozesse verwendet. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es dagegen möglich, ein Halbzeug mit dem Profil des Pleuels kontinuierlich zu extrudieren und quer zur Extrusionsrichtung, scheibenförmig, entsprechend der gewünschten Pleuelstärke zu zertrennen. Das so erhaltene Halbzeug kann dann, wie bereits beschrieben, von Bindemittel befreit und gesintert werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann auch die Herstellung von Nockenwellen vereinfacht werden.

Üblicherweise werden die Nockenwellen für Verbrennungsmotoren gegossen. Eine andere Möglichkeit zur Herstellung solcher Nockenwellen, ist der Bau dieser Nockenwellen aus einem Rohr und den zugehörigen Nocken durch Aufschrumpfen der vorher erwärmten Nocken auf das Rohr oder durch radiale Dehnung des Rohres mit Hilfe hohen Druckes von innen.

Die Herstellung solcher Nockenwellen kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vereinfacht werden, in dem die Nockenprofile, analog, wie die Profile der Pleuel kontinuier-

lich hergestellt werden. Unter Berücksichtigung des Rohrdurchmessers der Nockenwelle wird das so hergestellte Nockenprofil jedoch nur vorgesintert, konfektioniert und die Nocken mit der Nockenwelle zusammengebaut und fertig gesintert. Die Verbindung Nocken-Rohr kommt dabei sowohl durch mechanische Verklammerung kraftschlüssig, wie auch durch einen Vorgang des Versinterns, ähnlich dem, der beim Diffusionsschweißen auftritt, stoffschlüssig zu-stande.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können auch Katalysatorträger hergestellt werden. Im Unterschied zu keramischen Katalysatorträgern, haben metallische Katalysatorträger eine weit bessere Wärmeleitfähigkeit und demzufolge eine schnellere Reaktionszeit bei Erwärmung oder Abkühlung. Metallische Katalysatorträger werden üblicherweise durch ein Umformverfahren von Blech mit hohen Umformgraden und/oder Blechfügenschritten als Strukturen mit offenen Kanälen hergestellt. Mit den bekannten Verfahren ist es jedoch nicht möglich, harte und feste Werkstoffe zu verarbeiten, die bei der Blechumformung nur stark eingeschränkt eingesetzt werden können. Für die Herstellung von Katalysatorträgern sind jedoch als Werkstoff Refraktärmetalle, insbesondere Wolfram, Tantal, Titanlegierungen, Eisenbasiswerkstoffe mit hohem Cr- bzw. Al-Gehalt sowie intermetallische Verbindungen besonders geeignet. Diese können jedoch mit dem erfindungsgemäßen Verfahren problemlos verarbeitet und entsprechende Katalysatorträger hergestellt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von quasi-endlos Profilen aus pulvelförmigen Ausgangsmaterialien, bei dem metallisches, keramisches oder eine Mischung solcher Pulver mit einem Binder oder Binder-gemisch, bei einem Druck und einer Temperatur, bei der der Binder oder das Binder-gemisch zumindest niedrig-viskos ist, als fließfähige Mischung mit einem Schneckenextruder durch eine die Profilform vorgegebende Düse gepreßt und der Binderanteil zumindest so eingestellt wird, daß der aus der Düse austretende Strang formstabil ist und der profilierte Strang oder durch Konfektionierung erhaltene Teile davon, gesintert wird/werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ausgangspulver als Binder thermoplastische oder duroplastische Polymere, thermogelisierende Substanzen, Wachse oder oberflächenaktive Substanzen oder daraus erhaltene Mischungen zugegeben werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß für den Binder Polyamide, Polyoxy-methylen, Polycarbonat, Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat, Polyimid, natürliche Wachse und Öle, Duroplaste, Cyanate, Polypropylene, Polyacetate, Polyäthylen, Äthylen-Vinyl-Acetate, Polyvinyl-Alkohole, Polyvinyl-Chloride, Polystyrene, Polymethyl-Methacrylate, Aniline, Wasser, Mineral Öle, Agar, Glycerin, Polyvinyl-Butyryle, Polybutyl-Methacrylate, Cellulose, Ölsäuren, Phthalate, Paraffin Wachse, Carnauba Wachs, Ammonium Polyacrylate, Diglycerid-Stearate und -Oleate, Glycerol-Monostearate, Isopropyl-titanate, Lithium-Stearate, Monoglyceride, Formaldehyde, Octyl-Säure-Phosphate, Olefin-Sulfonate, Phosphat-Ester, Stearinsäure oder Zink-Stearate, verwendet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Binder in einer Menge zugegeben wird, so daß nahezu das gesamte oder das gesamte freie Volumen der Ausgangspulverschüttung mit

dem Binder ausgefüllt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Bindervolumenanteil durch Ermittlung der Volumendifferenz zwischen theoretischer Dichte und Klopfdichte des Ausgangspulvers bestimmt wird. 5

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangspulver und der Binder, bei Raumtemperatur oder erhöhter Temperatur vermischt und nach gezielter Abkühlung in einen Extruder gegeben, dort durch Friction und zusätzliche Beheizung erwärmt und dann durch die Düse extrudiert wird oder aber als getrennte Bestandteile in den Extruder gegeben werden, so daß die Vermischung von Pulver und Binder im Extrusionsaggregat selbst abläuft. 10

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Sintern, Binder oder Binderanteile durch Verdampfung, Wicking, Destillation, Sublimation, Extraktion, Cracken unter Schutzgas und/oder katalytisch unterstützte chemische 20 Reaktionen entfernt wird/werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei verschiedene Pulver-Bindergemische so extrudiert werden, daß ein Strang aus zwei- oder mehrphasigem Werkstoff 25 hergestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die verschiedenen Pulver-Bindergemische im Bereich oder direkt an der Düse zusammengeführt werden. 30

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die verschiedenen Pulver-Bindergemische getrennt extrudiert und im Anschluß an die Extrusion zusammengeführt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Extrudieren eine Kalibrierung des Strangprofils durchgeführt wird. 35

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das extrudierte Strangprofil im teilerstarren Zustand zur Verbesserung der Formgenauigkeit, wie auch für eine weitere bewußte Umformung in periodischen oder nichtperiodischen Abständen umgeformt wird. 40

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

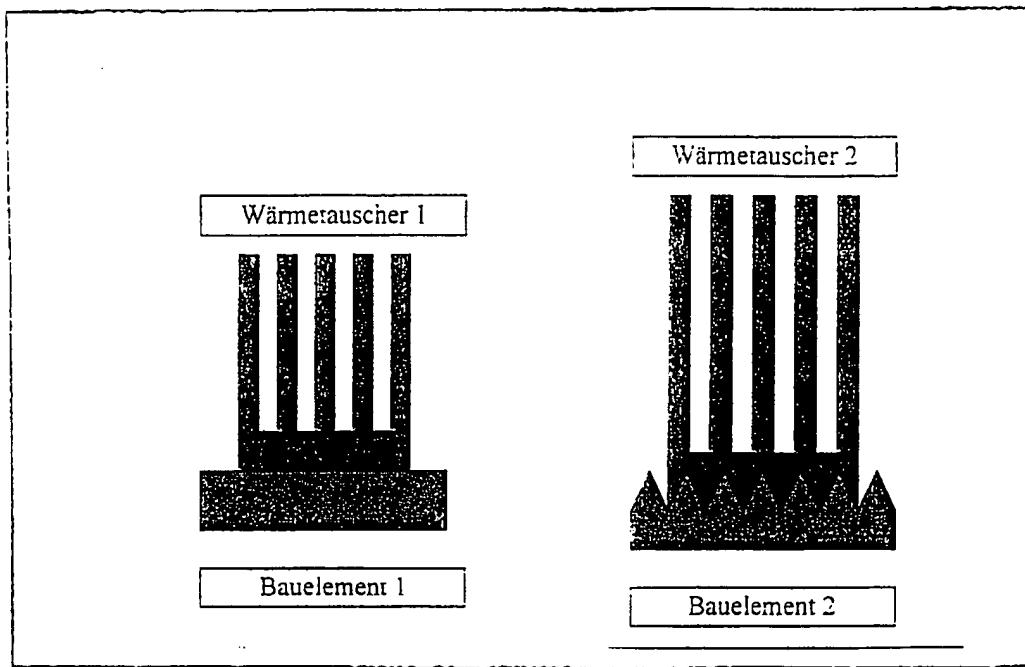
45

50

55

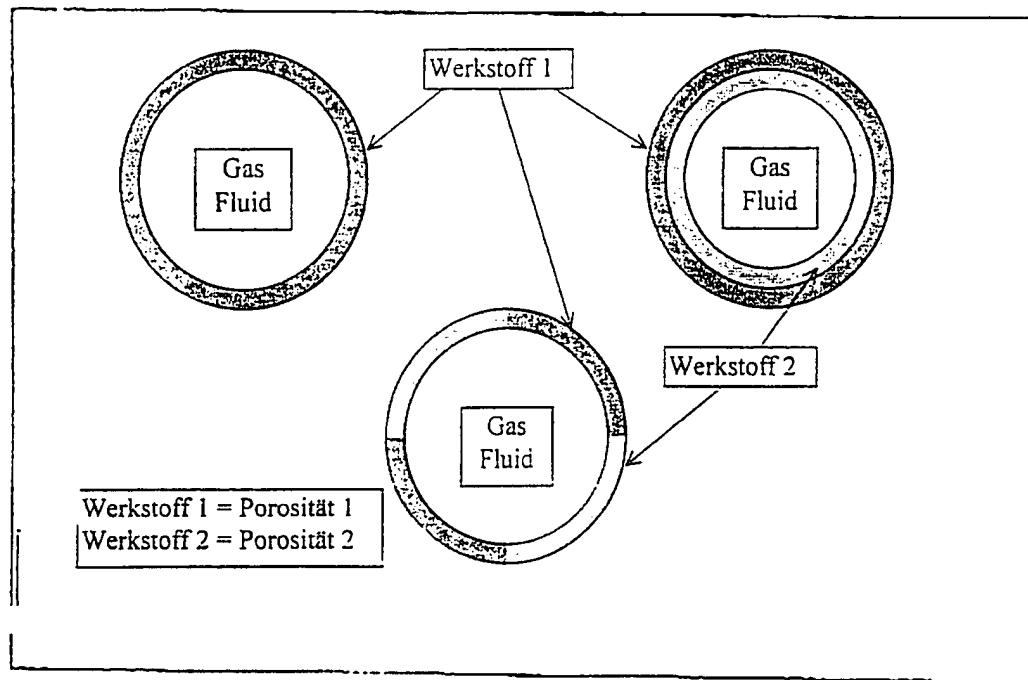
60

65



Figur 1

**- Leerseite -**



Figur 2

DR. ING. H. W. STÜRTZ  
D 7430 Tübingen  
Postfach 10 02  
Telefon 07071/20 00 00  
Telex 7 222 141 DEUTSCHLAND  
Fax 07071/20 00 01

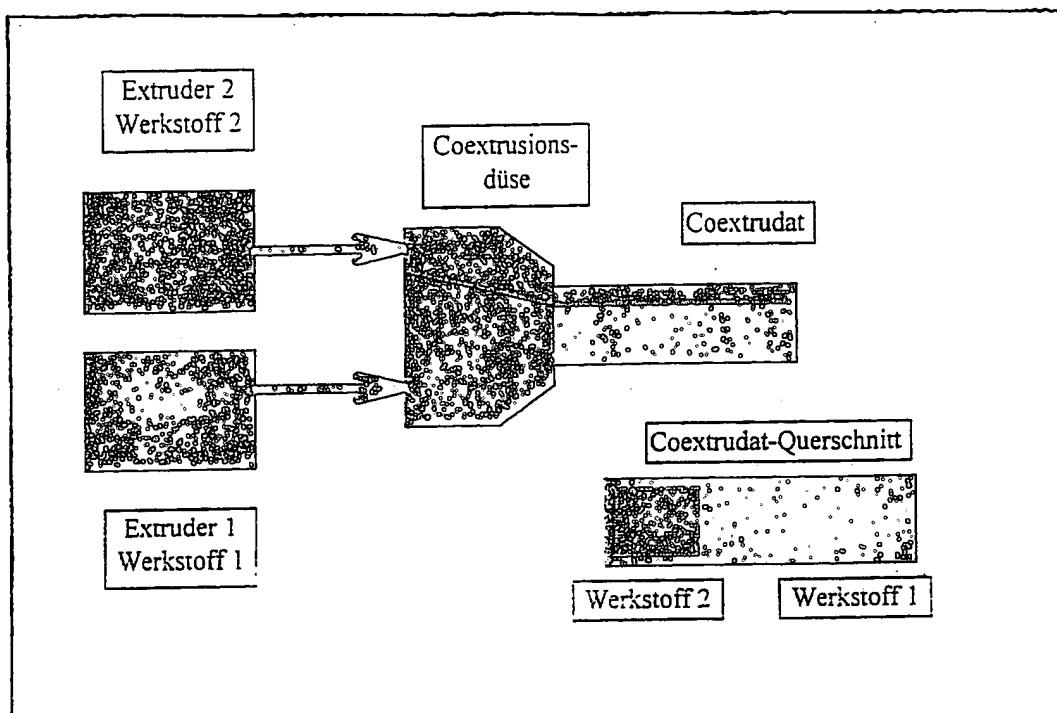


Figure 3

DOCKET NO: W&S - SGL-1  
SERIAL NO: 09/936,067  
APPLICANT: Müller et al.  
LERNER AND GREENBERG P.A.  
P.O. BOX 2480  
HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
TEL. (954) 925-1100